

Wat bepaalt de meerwaarde van een hoortoestel bij ouderen?

De interacties tussen hoortoestellen, auditief-cognitieve training, cognitie en luisterinspanning: een review

Katrien Kestens¹, Sofie Degeest¹, Hannah Keppler^{1,2}

¹ *Vakgroep Revalidatiewetenschappen, Universiteit Gent, Gent, België*

² *Departement Otorhinolaryngologie, Universitair Ziekenhuis Gent, Gent, België*

Samenvatting

De meest frequente klachten van slechthorende ouderen zijn gerelateerd aan een verminderd spraakverstaan en een toegenomen luisterinspanning, voornamelijk in rumoerige luistersituaties. Ondanks gehoorrevalidatie in het kader van leeftijdsgebonden gehoorverlies (d.i. presbycusis) voornamelijk met behulp van hoortoestellen verloopt, blijkt het hoortoestelvoordeel variabel te zijn. Recent wordt in de literatuur meer aandacht gegeven aan de link tussen cognitie en spraakverstaan. Een mogelijke hypothese is dat de variabiliteit in hoortoestelvoordeel te wijten zou zijn aan intersubject verschillen op vlak van cognitie. Het doel van dit review artikel is dan ook om de relatie tussen hoortoestellen, cognitie, auditief-cognitieve training en luisterinspanning in kaart te brengen en dit specifiek bij volwassen binaurale hoortoestelgebruikers.

Vier interacties tussen binauraal hoortoestelgebruik, digitale hoortoestelfeatures, cognitie en luisterinspanning werden onderzocht: (1) Wat is de invloed van binauraal hoortoestelgebruik op cognitie? (2) Hoe beïnvloedt de cognitieve status van de hoortoestelgebruiker het hoortoestelvoordeel met betrekking tot spraakverstaan? (3) Wat is de invloed van binauraal hoortoestelgebruik op luisterinspanning? (4) Hoe beïnvloedt de cognitieve status van de hoortoestelgebruiker het hoortoestelvoordeel met betrekking tot luisterinspanning?

Daarnaast werd ook het effect van auditief-cognitieve training op het hoortoestelvoordeel onderzocht.

De huidige literatuur omtrent de besproken interacties is beperkt en toont variabele resultaten. Het is daarom niet mogelijk algemene uitspraken te definiëren. Verder onderzoek naar het hoortoestelvoordeel vanuit een auditief-cognitief perspectief is essentieel voor het optimaliseren van het hoortoestelvoordeel.

Correspondentieadres:

Drs. K. Kestens

Universiteit Gent

Vakgroep Revalidatiewetenschappen

Corneel Heymanslaan 10

9000 Gent, België

E-mail: katrien.kestens@ugent.be

Dit artikel is gelicentieerd onder de Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0 (Naamsvermelding-NietCommercieel-GeenAfgeleideWerken) Internationale Licentie. Gebruik en distributie voor commerciële doeleinden en elke distributie van aangepast materiaal vereist schriftelijke toestemming.

Summary

The main complaints of hearing-impaired elderly are related to difficulties with speech understanding and increased listening effort, especially in complex listening conditions. Hearing aids are the primary rehabilitation devices to compensate for age-related hearing loss (i.e. presbycusis), though different results regarding aided performances are documented. Recently, more attention is directed to the contribution of cognition during speech understanding. Hence, the differences regarding hearing aid benefit may be due to intersubject variability in cognition. Therefore, this review article aims to investigate the relationship between hearing aids, cognition, auditory-cognitive training, and listening effort in adult binaural hearing aid users.

More specifically, four interactions between binaural hearing aid use, digital signal processing features, cognition, and listening effort were investigated: (1) How does binaural hearing aid use influence the hearing aid user's cognitive performance?, (2) How does the hearing aid user's cognitive performance influence the aided speech outcome?, (3) How does binaural hearing aid use influence listening effort, and (4) How does the hearing aid user's cognitive performance influence the aided listening effort benefit?

Besides, the effect of auditory-cognitive training on the aided benefit was examined.

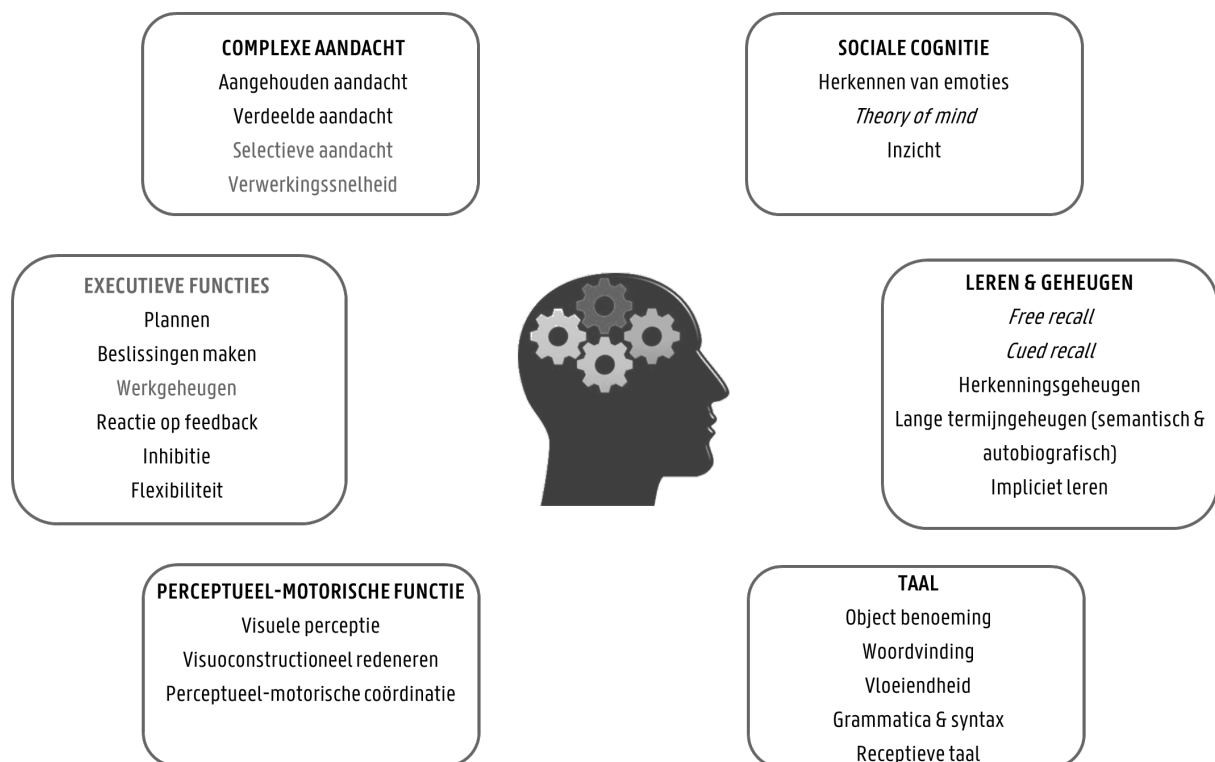
The existing literature regarding these interactions is limited and showed variable results. Hence, it is not possible to define general statements about any of these interactions. Further research regarding aided speech understanding from an auditory-cognitive perspective is essential for optimizing the hearing aid benefit.

Spraakverstaan in een auditief-cognitieve context

Horen wordt beschreven als een passieve functie waarbij enkel bottom-up processen noodzakelijk zijn voor de detectie van geluid alsook voor het discrimineren van de locatie, toonhoogte, luidheid en kwaliteit van geluid (Kiessling e.a., 2003). Spraakverstaan daarentegen wordt beschreven als het actieve proces van horen waarbij zowel bottom-up als top-down processen vereist zijn. Naast het perifeer en centraal auditief systeem dragen centrale cognitieve processen bij tot het verstaan van spraak, voornamelijk in rumoerige luistersituaties (Akeroyd, 2008; Kiessling e.a., 2003). Bijgevolg is het belangrijk om spraakverstaan vanuit een auditief-cognitieve context te beschouwen.

Cognitie kan gedefinieerd worden als de mentale processen in de hersenen die optreden bij het waarnemen, verwerken van informatie, leren, denken alsook bij het oplossen van problemen (Vingerhoets & Lannoo, 1998). Op basis van de vijfde editie van de Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM-5) wordt cognitie in zes hoofddomeinen onderverdeeld (d.i. sociale cognitie, leren en geheugen, taal, perceptueel-motorische functie, executieve functies en complexe aandacht), elk met hun eigen subdomeinen (Figuur 1) (Sachdev e.a., 2014). Uit recente literatuur omtrent spraakverstaan in een auditief-cognitieve context blijkt dat zowel selectieve aandacht als verwerkingssnelheid, werkgeheugen en executieve functies een belangrijke rol spelen bij het verstaan van spraak (Akeroyd, 2008; Anderson e.a., 2013; Dryden e.a., 2017; Oberfeld & Klockner-Nowotny, 2016; Vaughan,

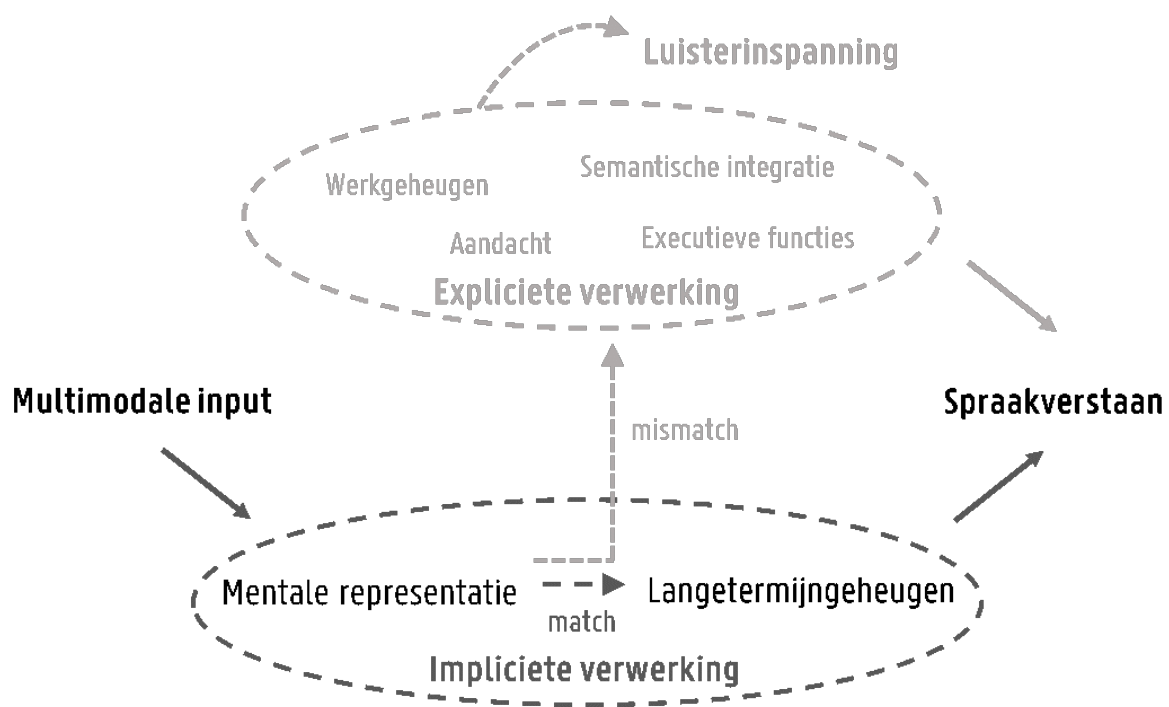
Storzbach, & Furukawa, 2006). Executieve functies vertegenwoordigen geen welbepaald cognitief proces, maar treden in werking tijdens alle cognitieve subprocessen en hebben daarbij een algemeen coördinerende en controlerende functie (Sohlberg & Matter, 2017). Desondanks werkgeheugen volgens de DSM-5 onderdeel lijkt van de executieve functies, wordt dit in de literatuur vaak als twee afzonderlijke cognitieve functies beschouwd. Om de huidige literatuur zo eenduidig mogelijk weer te geven in dit review artikel, werden werkgeheugen en executieve functies als twee entiteiten beschouwd.



Figuur 1: Hoofd- en subdomeinen van cognitie volgens de Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM-5).

Om een gesproken boodschap in een rumoerige luisteromgeving te verstaan, dient de aandacht eerst selectief op de stem van de spreker (d.i. doelsignaal) te worden gericht. Tegelijkertijd dienen interfererende achtergrondgeluiden te worden genegeerd (Edwards, 2016). Eenmaal de aandacht selectief op het doelsignaal gericht is, kan het proces van auditieve verwerking tot begrip starten. De manier waarop cognitieve processen tijdens het spraakverstaan worden ingeschakeld, wordt beschreven in het Ease of Language Understanding model (ELU-model) (Ronnberg e.a., 2013). Binnen het ELU-model is spraakverstaan het resultaat van de overeenkomst tussen de mentale representatie van het doelsignaal (d.i. het signaal waarop de aandacht selectief werd gericht) en de representaties opgeslagen in het langetermijngeheugen (d.i. matchingproces) (Figuur 2). Bij het vergelijken van deze representaties speelt verwerkingssnelheid een cruciale rol. Wanneer de representatie van het

doelsignaal overeenkomt met deze van het langetermijngeheugen, zal spraakverstaan snel en impliciet verlopen. In de aanwezigheid van achtergrondlawaai of bij personen met gehoorverlies zal spraakverstaan daarentegen trager en meer expliciet verlopen ten gevolge van degradatie van het binnenkomend signaal. Eerst en vooral zal meer aandacht nodig zijn om het doelsignaal van achtergrondgeluiden te onderscheiden (Edwards, 2016). Daarnaast zal er moeilijker een overeenkomst te vinden zijn tussen het gedegradeerde doelsignaal en de reeds opgeslagen representaties in het langetermijngeheugen. Om deze mismatch op te lossen zullen naast het gebruik van semantische en contextuele cues, tevens expliciete cognitieve processen ingeschakeld worden en meer bepaald het werkgeheugen en de executieve functies (Ronnberg e.a., 2013). De aandacht en cognitieve inspanning nodig om spraak te verstaan, wordt in de literatuur gedefinieerd als luisterinspanning (Bourland Hicks & Tharpe, 2002; Pichora-Fuller e.a., 2016).



Figuur 2: Schematische weergave van het Ease of Language Understanding model. Gebaseerd op Rönnberg e.a., 2013.

Spraakverstaan en veroudering

Meer dan 60% van de ouderen boven 70 jaar lijdt aan gehoorverlies (Lin e.a. 2011), met leeftijd als belangrijkste oorzaak (Dobie, 2008). Onbehandeld kan leeftijdsgebonden gehoorverlies (presbycusis) een negatieve impact uitoefenen op het dagelijks functioneren en bijgevolg op de kwaliteit van leven (Cacciatore e.a., 1999; Dalton e.a., 2003; Gates & Mills, 2005).

Aangezien de levensverwachting van de Belgische bevolking alsmaar toeneemt (FOD Economie, 2018), brengt presbycusis een belangrijk sociaal en gezondheidsgerelateerd probleem met zich mee.

Typerend voor presbycusis is de achteruitgang van de perifeer en centraal auditieve systemen, wat respectievelijk kan leiden tot een achteruitgang van de gehoordrempels in de hoge frequenties en een verminderd spectraal en temporeel resolutievermogen (CHABA, 1988; Cruickshanks e.a., 1998; Gates e.a., 1990; Mazelova, Popelar, & Syka, 2003). Als gevolg hiervan wordt de identificatie van fonemen en woorden bemoeilijkt (Gates & Mills, 2005; van Rooij & Plomp, 1992), wat op zijn beurt resulteert in een verminderd spraakverstaan. Het is om deze reden dat ouderen vaak de volgende klacht rapporteren, voornamelijk in rumoerige luisteromstandigheden: “ik hoor het wel, maar ik versta het niet” (CHABA, 1988; Gates & Mills, 2005; Helfer & Freyman, 2008). Interfererende achtergrondgeluiden bestaan voornamelijk uit lage frequenties. Hierdoor zal het maskerend effect van achtergrondgeluiden groter zijn gezien het restgehoor bij presbycusis voornamelijk uit deze lage frequenties bestaat.

In het onderzoek van Anderson e.a. (2011) werd de neurale basis van spraakverstaan in rumoer bij ouderen onderzocht. Deze resultaten toonden een grote variatie in spraakverstaan in rumoer en dit zelfs bij ouderen met eenzelfde gehoorstatus. Dit suggereert dat de mate van spraakverstaan niet enkel gerelateerd is aan het perifeer en centraal auditief systeem. Een mogelijke hypothese is dat de variatie in spraakverstaan te wijten is aan interindividuele verschillen in cognitie. Naast de leeftijdsgebonden achteruitgang van de perifeer en centraal auditieve systemen, ondervindt ook cognitie een effect van veroudering. Zowel de algemene cognitie als selectieve aandacht (Desjardins & Doherty, 2013; Harrington e.a., 2017), verwerkingssnelheid (Baltes & Lindenberger, 1997; Desjardins & Doherty 2013; Harrington e.a. 2017), werkgeheugen (Desjardins and Doherty 2013; Grassi e.a. 2013; Harrington e.a., 2017) en executieve functies (Grassi & Borella, 2013) blijken achteruit te gaan met toenemende leeftijd. Als gevolg hiervan wordt tevens een toename in luisterinspanning opgemerkt met toenemende leeftijd, ongeacht de status van het perifeer auditief systeem (Degeest, Keppler, & Corthals, 2015; Gosselin & Gagne, 2011). De mate waarin de individuele cognitieve prestaties veranderen met de leeftijd is echter nog niet volledig gekend.

Samenvattend, alle componenten belangrijk voor spraakverstaan (d.i. perifeer en centraal auditieve banen en cognitie) ondergaan veranderingen ten gevolge van veroudering. Deze veranderingen leiden tot de typische klachten van een verminderd spraakverstaan (in rumoer) en een toegenomen luisterinspanning bij ouderen. Hoewel een verhoogde luisterinspanning verband houdt met de spraakherkenningsmoeilijkheden van slechthorende ouderen, blijkt uit de praktijk dat het bewustzijn met betrekking tot deze klacht nog erg beperkt is bij professionals.

Er blijkt daarenboven een comorbiditeit te bestaan tussen presbycusis, versnelde cognitieve achteruitgang (Gallacher e.a., 2012; Gurgel e.a., 2014; Harrison Bush e.a., 2015; Lin, 2011) en dementie bij ouderen (Deal e.a., 2017; Gallacher e.a., 2012). Verscheidene hypothesen omtrent deze comorbiditeit werden reeds voorgesteld, maar de oorzakelijke factor blijft ongekend (Wayne & Johnsrude, 2015; Pronk e.a., 2018). Een eerste hypothese (d.i. cognitive load on perception hypothese) stelt dat door een vermindering van de cognitieve capaciteit

zintuiglijke prikkels moeilijker worden verwerkt. Cognitieve achteruitgang zou met andere woorden deels aan de basis van presbycusis liggen. De literatuur toont echter weinig evidentie voor deze hypothese (Wayne & Johnsrude, 2015). Een tweede hypothese (d.i. common cause hypothese) stelt dat een gemeenschappelijke oorzaak (d.i. leeftijdsgerelateerde cerebrovasculaire veranderingen) leidt tot zowel presbycusis als cognitieve achteruitgang (Baltes & Lindenberger, 1997; Lindenberger & Baltes, 1994; Wayne & Johnsrude, 2015). Tot slot zou presbycusis aanleiding kunnen geven tot cognitieve achteruitgang. Volgens de “sensory deprivation” hypothese zal een langdurig tekort aan auditieve prikkels leiden tot neurale atrofie, met onomkeerbare cognitieve achteruitgang tot gevolg. Volgens de “information degradation” hypothese daarentegen zouden personen met presbycusis ter compensatie van de verminderde auditieve input meer cognitieve middelen aanspreken, wat mogelijk tot een verhoogde luisterinspanning leidt. Hierdoor blijft er minder cognitieve capaciteit over om tegelijkertijd overige taken te volbrengen (Baltes & Lindenberger, 1997; Lindenberger & Baltes, 1994; Wayne & Johnsrude, 2015).

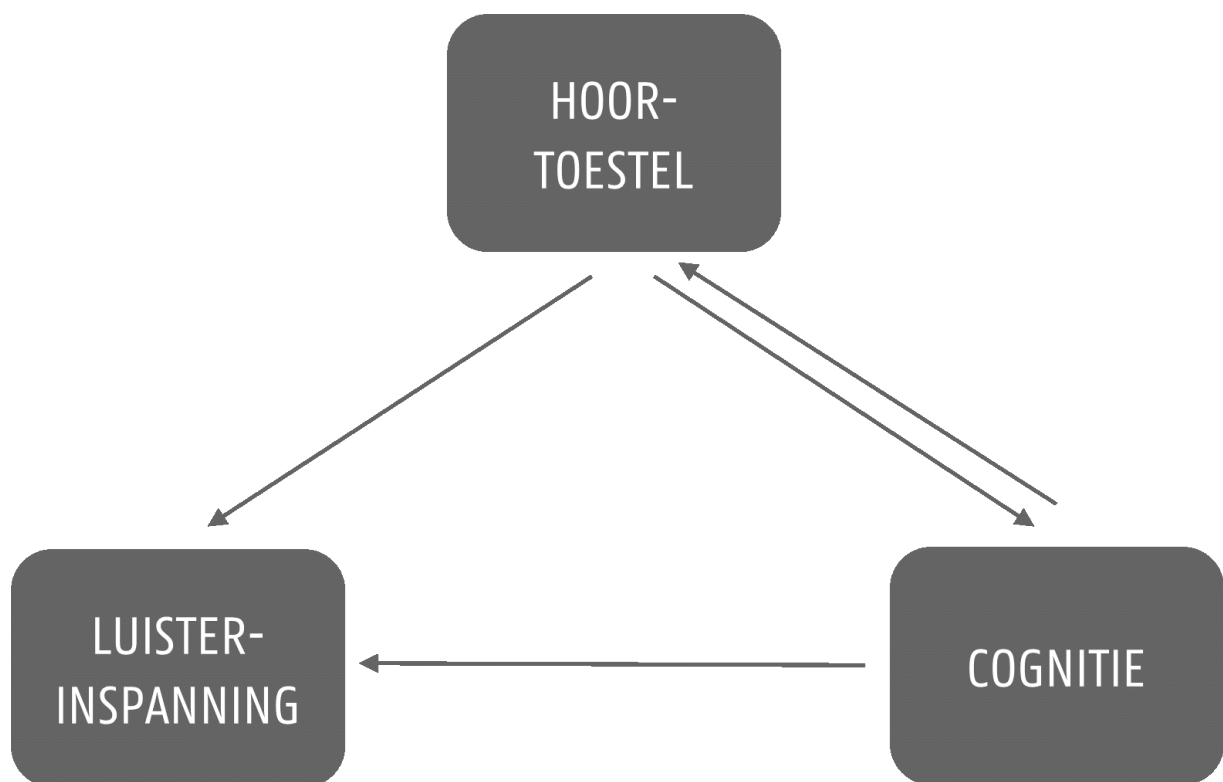
Gehoorrevalidatie bij presbycusis

Gehoorrevalidatie bij presbycusis gebeurt voornamelijk aan de hand van hoortoestellen (CHABA, 1988). Deze hoortoestellen hanteren digitale signaalverwerkingsstrategieën waarbij het binnenkomend signaal niet alleen versterkt, maar ook digitaal bewerkt wordt opdat het zo optimaal mogelijk bij de hoortoestelgebruiker toekomt. Op basis van het ELU-model (Ronnberg e.a., 2013) kan gesteld worden dat door hoortoestelgebruik de mismatch tussen de mentale representatie van het doelsignaal en de representaties opgeslagen in het langetermijngeheugen deels zal worden opgeheven. Als gevolg wordt verwacht dat hoortoestelgebruik zal leiden tot een verbeterd spraakverstaan en verminderde luisterinspanning.

Toch worden wisselende resultaten omtrent de effectiviteit van een hoortoestel bekomen en dit zelfs bij ouderen met eenzelfde perifere gehoorstatus (Knudsen e.a., 2010). Deze variatie in hoortoestelvoordeel is mogelijk een gevolg van het huidig fittingsysteem. Digitale hoortoestellen worden op basis van de gehoordrempels en het spraakverstaan van de individuele hoortoestelgebruiker ingesteld. Er wordt dus enkel gefocust op het auditief functioneren en niet op het auditief-cognitief functioneren van de hoortoestelgebruiker. Evidence-based adviezen omtrent hoortoestelfitting op basis van het auditief-cognitief functioneren van de hoortoestelgebruiker zijn echter nog niet voorhanden. Niettemin zou de implementatie van dergelijke adviezen in het huidig fittingsysteem kunnen leiden tot een optimalisatie van het hoortoestelvoordeel bij ouderen.

In de literatuur werden reeds vier interacties tussen cognitie, luisterinspanning en hoortoestellen onderzocht bij binaurale hoortoestelgebruikers met presbycusis (Kestens, Degeest, & Keppler, 2020; Kalluri, Ahmann, & Munro, 2019; Pichora-Fuller e.a., 2016; Ronnberg e.a., 2013) (Figuur 3). De gehanteerde methodes binnen deze studies verschilden op verscheidene vlakken, wat het formuleren van concrete conclusies en adviezen bemoeilijkt. Zo werden verschillende methodes gehanteerd om cognitie en luisterinspanning in kaart te brengen. Meer specifiek werden verscheidene cognitieve functies (d.i. algemene cognitie,

selectieve aandacht, verwerkingssnelheid, werkgeheugen en executieve functies) geëvalueerd waarbij een breed gamma aan cognitieve testen werd gebruikt, variërend in aanbiedingsmethode (auditief en visueel). Toch werd binnen de onderzochte interacties niet elke cognitieve functie onderzocht. Luisterinspanning werd eveneens aan de hand van verscheidene testen opgemeten, dewelke in drie categorieën kunnen worden onderverdeeld: objectief opgemeten luisterinspanning (pupillometrie en elektro-encefalografie), gedragsmatig opgemeten luisterinspanning (dubbeltaak paradigma) en subjectief opgemeten luisterinspanning (vragenlijsten). Tot slot was een grote variatie van hoortoestelkarakteristieken op te merken zoals bijvoorbeeld het type hoortoestel, het merk en de gebruikte instellingen. In de volgende paragrafen zullen deze vier interacties dieper worden uitgewerkt.



Figuur 3: Interacties tussen cognitie, luisterinspanning en hoortoestellen (1) Wat is de invloed van binauraal hoortoestelgebruik op cognitie? (2) Hoe beïnvloedt de cognitieve status van de hoortoestelgebruiker het hoortoestelvoordeel met betrekking tot spraakverstaan? (3) Wat is de invloed van binauraal hoortoestelgebruik op luisterinspanning? (4) Hoe beïnvloedt de cognitieve status van de hoortoestelgebruiker het hoortoestelvoordeel met betrekking tot luisterinspanning?

1. Wat is de invloed van binauraal hoortoestelgebruik op cognitie?

Gehoorverlies blijkt een comorbiditeit te vertonen met versnelde cognitieve achteruitgang en dementie bij ouderen (Gallacher e.a., 2012). Aangezien hoortoestellen verondersteld worden gehoorverlies deels te compenseren, kan de vraag gesteld worden of het dragen van een hoortoestel het cognitief functioneren beïnvloedt.

Het effect van binauraal hoortoestelgebruik op het cognitief functioneren, en meer specifiek op werkgeheugen, selectieve aandacht en verwerkingssnelheid, werd in verschillende studies onderzocht. Binnen deze studies varieerde de acclimatisatieperiode (d.i. de periode tussen de baseline- en postmeting) van twee weken (Desjardins, 2016a) tot zes maanden (Karawani, Jenkins, & Anderson, 2018). Er werd een trend geobserveerd waarbij na een periode van hoortoestelgebruik het werkgeheugen, de selectieve aandacht alsook de verwerkingssnelheid significant verbeterden, althans wanneer auditieve testitems werden gehanteerd (Castiglione e.a., 2016; Desjardins, 2016a; Doherty & Desjardins, 2015; Karawani, Jenkins, & Anderson, 2018). Daarentegen werd bij visuele aanbidding van de testitems geen effect van hoortoestelgebruik op deze drie cognitieve functies waargenomen (Castiglione e.a., 2016; Dawes & Munro, 2017; Desjardins, 2016a; Karawani, Jenkins, & Anderson, 2018). Bovendien bleek dat de significant verbeterde cognitieve scores niet konden worden behouden wanneer hoortoestellen twee weken niet werden gedragen. Meer specifiek bleken de cognitieve scores twee weken post hoortoestelinterventie identiek te zijn aan de baseline-scores (Desjardins, 2016a; Karawani, Jenkins, & Anderson, 2018).

Op basis van deze bevindingen rijst de vraag of de geobserveerde verbeteringen van werkgeheugen, selectieve aandacht en verwerkingssnelheid effectief gerelateerd zijn aan cognitieve transfer en niet aan een verbeterd spraakverstaan ten gevolge van de amplificatie via hoortoestellen.

2. Hoe beïnvloedt de cognitieve status van de hoortoestelgebruiker het hoortoestelvoordeel met betrekking tot spraakverstaan?

Om het hoortoestelvoordeel te optimaliseren is het belangrijk te weten of de cognitieve status van de hoortoestelgebruiker het hoortoestelvoordeel al dan niet beïnvloedt. Concreet kan men zich afvragen in welke mate hoortoestelgebruikers met een bepaalde cognitieve status voordeel zullen ervaren van specifieke feature-instellingen. Met voordeel wordt het verschil bedoeld tussen de scores behaald met en zonder de activatie van de specifieke feature-instelling van het hoortoestel. In wat volgt, zal worden gesproken over 'mindere' en 'betere' cognitie, wat duidt dat de groep met een mindere cognitie lagere scores behaalde op de cognitieve testen dan personen met een betere cognitie. In de literatuur is er echter nog geen duidelijkheid waar de grens tussen deze twee groepen zich bevindt. Op basis van het ELU-model (Ronnberg e.a., 2013) wordt verondersteld dat hoortoestelgebruikers met een mindere cognitie meer voordeel zullen halen uit feature-instellingen die het matchingproces tussen de mentale representatie van het signaal en de representaties opgeslagen in het langetermijngeheugen zullen bevorderen. Er wordt namelijk verwacht dat hoortoestelgebruikers met een mindere cognitie een zwakkere baselinescore zullen behalen waardoor

het voordeel van een bepaalde feature-instelling groter zal zijn dan bij hoortoestelgebruikers met een betere cognitie. Welbepaalde feature-instellingen resulteren namelijk in minder vervorming van het spraaksignaal. Hierdoor wordt verwacht dat het matchingproces bij dergelijke feature-instellingen zal worden gefaciliteerd en dus zal resulteren in minder tussenkomst van cognitieve functies om het spraaksignaal te verstaan. Hoortoestelgebruikers met een mindere cognitie zullen meer expliciete cognitieve functies moeten aanspreken om spraak te verstaan in vergelijking met hoortoestelgebruikers met een betere cognitie, vooral in moeilijke luisteromstandigheden. Daarom wordt verondersteld dat het verschil tussen de activatie en inactivatie van feature-instellingen die het matchingproces faciliteren (d.i. hoortoestelvoordeel) gunstiger zal zijn voor hoortoestelgebruikers met een mindere cognitie. Volgende digitale features werden beschouwd: directionele microfoon, ruisreductiesysteem, amplitudecompressie en frequentiecompressie.

De activatie van een directionele microfoon (d.i. versterken van het geluid vanuit een welbepaalde gewenste richting en onderdrukken van geluiden afkomstig uit andere richtingen) en van een ruisreductiesysteem (d.i. elimineren van storende ruisfactoren in het signaal) zorgen beide voor een optimalisatie van de signaal-ruisverhouding van het binnenkomend signaal (Dillon, 2008). Hoe beter de signaal-ruisverhouding, hoe beperkter de distorsie van het binnenkomend signaal zal zijn, wat op zijn beurt kan leiden tot een facilitatie van het matchingproces. Op basis van het ELU-model (Ronnberg e.a., 2013) wordt verwacht dat hoortoestelgebruikers met een mindere cognitie meer voordeel hebben bij de activatie van een directionele microfoon en een ruisreductiesysteem dan hoortoestelgebruikers met een betere cognitie. Uit de studie van Keidser e.a. (2013) bleek inderdaad dat hoortoestelgebruikers met een mindere selectieve aandacht meer voordeel haalden wat betreft spraakverstaan in rumoer na de activatie van een directionele microfoon. Daarnaast werd aangetoond dat hoortoestelgebruikers met een verminderde executieve controle een grotere voorkeur hadden voor een sterker ruisreductiesysteem (Neher, Wagener, & Fischer, 2016). Daarentegen werd geen relatie gevonden tussen werkgeheugen, verwerkingssnelheid en executieve functies aan de ene kant en het voordeel wat betreft spraakverstaan in rumoer door de activatie van een directionele microfoon of ruisreductiesysteem aan de andere kant (Keidser e.a., 2013; Neher, Wagener, & Fischer, 2016).

Daarnaast zorgt compressie ervoor dat het geluid dat aan de hoortoestelgebruiker wordt afgeleverd binnen zijn/haar dynamisch bereik valt, zowel wat betreft luidheid (d.i. amplitudecompressie) als wat betreft frequentiebereik (d.i. frequentiecompressie). De tijd die dergelijke compressiesystemen nodig hebben om op een verandering in het signaal te reageren kan afzonderlijk worden ingesteld. Afhankelijk van de keuze wordt er van traag- of snelwerkende compressie gesproken. Binnen de huidige literatuur is er echter nog geen eenduidigheid omtrent de ideale compressie-instellingen op het vlak van spraakverstaan. Bijvoorbeeld, traagwerkende amplitudecompressie zal ervoor zorgen dat spraakcomponenten met een lagere intensiteit (d.i. consonanten) volgend op spraakcomponenten met een hogere intensiteit (d.i. vocalen) onvoldoende worden versterkt. Dit nadeel van traagwerkende amplitudecompressie is niet aanwezig bij snelwerkende amplitudecompressie. Desondanks kan te snelwerkende amplitudecompressie leiden tot wijzigingen van de natuurlijke modulaties in het spraaksignaal. Aangezien spraakverstaan vanuit een auditief-cognitieve context

moet worden beschouwd, kan men zich afvragen in welke mate hoortoestelgebruikers met een bepaalde cognitieve status voordeel zullen ervaren van traag- of snelwerkende compressie. Hoe sneller het compressiesysteem op een verandering reageert, hoe meer de omhullende van het signaal (d.i. luidheidscontour van het signaal, essentieel voor spraakverstaan) zal worden vervormd, wat uiteindelijk zal resulteren in een grotere signaaldistorsie (Dillon, 2008). Dit impliceert dat een grotere facilitatie van het matchingproces zal worden bekomen met een traagwerkend compressiesysteem. Op basis van het ELU-model (Ronnberg e.a., 2013) kan worden verondersteld dat personen met een mindere cognitie meer voordeel zullen halen uit traagwerkende compressiesystemen dan uit snelwerkende compressiesystemen. Eén studie toonde inderdaad aan dat hoortoestelgebruikers met een verminderde algemene cognitie een beter spraakverstaan in rumoer vertoonden met een traagwerkende amplitude compressie (Cox & Xu, 2010). In deze studie werd de algemene cognitie aan de hand van een samengestelde score op verscheidene cognitieve testen (d.i. werkgeheugen, verwerkingssnelheid en executieve functies) in kaart gebracht. Andere studies daarentegen vonden geen relatie tussen werkgeheugen, verwerkingssnelheid en executieve functies enerzijds en het hoortoestelvoordeel met traag- of snelwerkende compressie anderzijds (Ellis & Munro, 2015; Rudner e.a., 2009; Souza & Sirow, 2014).

Algemeen kan gesteld worden dat de huidige literatuur omtrent de invloed van de cognitieve status van de hoortoestelgebruiker op het hoortoestelvoordeel beperkt is en daarenboven veel variatie in bekomen resultaten toont. Toch wordt een trend gezien waarbij hoortoestelgebruikers met een mindere cognitie meer voordeel halen uit feature-instellingen die het matchingproces bevorderen. Gezien de beperkte evidentie is het echter onmogelijk reeds concrete adviezen voor te stellen in kader van hoortoestelfitting op basis van het auditief-cognitief functioneren van de hoortoestelgebruiker.

3. Wat is het effect van binauraal hoortoestelgebruik op luisterinspanning?

De primaire doelen van binauraal hoortoestelgebruik bij personen met presbycusis zijn het verbeteren van de geluidsdetectie en het spraakverstaan in stilte en in rumoer. Op basis van het ELU-model (Ronnberg e.a., 2013) kan verondersteld worden dat binauraal hoortoestelgebruik een positief effect heeft op de mate van luisterinspanning. Ongeacht de gebruikte methode om luisterinspanning in kaart te brengen (d.i. objectief, gedragsmatig en subjectief) blijkt binauraal hoortoestelgebruik inderdaad te zorgen voor een significante vermindering van de luisterinspanning (Johnson, Xu, & Cox, 2016; Picou, Ricketts, & Hornsby, 2013).

In het kader van een optimalisatie van de hoortoestelfitting is het belangrijk te weten of de activatie van een welbepaalde feature invloed heeft op de mate van luisterinspanning. Deze invloed blijkt afhankelijk te zijn van de methode gebruikt voor het opmeten van de luisterinspanning. Uit onderzoek is gebleken dat wanneer luisterinspanning objectief of gedragsmatig in kaart werd gebracht, er een significante daling van luisterinspanning werd bekomen na de activatie van een directionele microfoon, ruisreductiesysteem en frequentiecompressie (Desjardins, 2016b; Desjardins & Doherty, 2014; Picou, Moore, & Ricketts, 2017; Picou & Ricketts, 2017; Shehorn, Marrone, & Muller, 2018; Wendt, Hietkamp, & Lun-

ner, 2017). Daarentegen werden bij het subjectief opmeten van de luisterinspanning inconsistente resultaten gevonden, gaande van geen verschil tot een significante vermindering van de luisterinspanning na het activeren van een directionele microfoon of ruisreductiesysteem (Desjardins, 2016a; Desjardins & Doherty, 2014; Holmes e.a., 2018; Picou, Moore, & Ricketts, 2017). Het is onduidelijk in welke mate hoortoestelgebruikers verschillen op het vlak van luisterinspanning zelf kunnen waarnemen. In de meeste studies werd echter geen acclimatisatieperiode geïmplementeerd. Acclimatisatie verwijst naar het adapteren aan een nieuwe situatie dewelke niet toe te schrijven is aan een taak- of trainingseffect (Bentler, Mueller, & Ricketts, 2016). Voor zover bekend, werd nog geen onderzoek uitgevoerd naar het bestaan van een acclimatisatieperiode op het vlak van luisterinspanning. Mogelijk hebben hoortoestelgebruikers een bepaalde periode nodig om aan de nieuwe hoortoestelinstellingen te wennen alvorens een verandering van luisterinspanning subjectief kan worden ervaren.

4. Hoe beïnvloedt de cognitieve status van de hoortoestelgebruiker het hoortoestelvoordeel met betrekking tot luisterinspanning?

In kader van de optimalisatie van het hoortoestelvoordeel is het belangrijk de invloed van de cognitieve status van de hoortoestelgebruiker op het hoortoestelvoordeel met betrekking tot luisterinspanning in kaart te brengen. Deze interactie werd slechts door twee studies onderzocht. Op basis van het ELU-model (Ronnberg e.a., 2013) wordt verondersteld dat hoortoestelgebruikers met een mindere cognitie meer voordeel op het vlak van luisterinspanning zullen halen wanneer het matchingproces wordt bevorderd. Uit één studie bleek inderdaad dat hoortoestelgebruikers met een tragere verwerkingssnelheid meer voordeel halen uit binauraal hoortoestelgebruik dan personen met een snellere verwerkingssnelheid (Picou, Ricketts, & Hornsby, 2013). Daarentegen werd geen relatie gevonden tussen het voordeel op het vlak van luisterinspanning en werkgeheugen (Picou, Ricketts, & Hornsby, 2013; Shehorn, Marrone, & Muller, 2018).

Auditief-cognitieve training

Om het hoortoestelvoordeel te optimaliseren is het niet alleen belangrijk te focussen op de meest optimale hoortoestelinstellingen, maar zou het bijkomend trainen van de auditief-cognitieve functies van de hoortoestelgebruiker kunnen zorgen voor een betere gehoorwinst. Het effect van training bij binauraal hoortoestelgebruikers in kader van presbycusis is echter onontgonnen terrein. Gezien steeds meer belangstelling aan het auditief-cognitief aspect van spraakverstaan wordt geschonken, kan de vraag gesteld worden in welke mate auditief-cognitieve training een effect heeft op spraakverstaan en/of luisterinspanning bij een dergelijke populatie.

Voor zover wij weten, onderzochten slechts zes studies het voordeel van hoortraining op het hoortoestelvoordeel bij binauraal hoortoestelgebruikers in kader van presbycusis. Het voordeel werd in deze studies opgemeten via spraak-in-ruis testen en vragenlijsten. Meer

specifiek werd auditieve training (Abrams, Bock, & Irey, 2015; Humes e.a., 2019; Nkyekyer e.a., 2019; Stecker e.a., 2006; Whitton e.a., 2017), cognitieve training (Whitton e.a., 2017) en auditief-cognitieve training (Olson, Preminger, & Shinn, 2013) uitgevoerd (Tabel 1). Deze trainingen werden telkens aan de hand van een reeks online thuisoefeningen aangeboden, met uitzondering van de auditieve training in het onderzoek van Nkyekyer e.a. (2019), dewelke persoonlijk verliep.

De resultaten toonden aan dat na een periode van auditief of auditief-cognitieve training zowel eerste als ervaren hoortoestelgebruikers een significante verbetering op het vlak van spraakverstaan in rumoer vertoonden (Humes e.a., 2018; Olson, Preminger, & Shinn, 2013; Stecker e.a., 2006; Whitton e.a., 2017). Deze verbetering was meer uitgesproken bij de eerste hoortoestelgebruikers (Olson, Preminger, & Shinn, 2013; Stecker e.a., 2006). Toch blijkt training niet onmiddellijk na de eerste hoortoestelfitting te moeten worden opgestart. Er was namelijk geen verschil in uitkomst wanneer training twee maanden na de eerste fitting werd uitgevoerd (Stecker e.a., 2006). De grootte van verbetering had daarentegen wel een recht evenredig verband met de effectief gepresteerde trainingsuren (Abrams, Bock, & Irey, 2015).

Verder bleek dat auditieve training voornamelijk voordeel bood bij spraakverstaan in rumoer op signaal-ruisniveaus waar het hoortoestel minder voordeel biedt (Whitton e.a., 2017), wat suggereert dat het hoortoestelvoordeel bekomen via hoortoestelgebruik en auditieve training complementair zijn.

Uit het onderzoek van Humes e.a. (2019) bleek echter dat de geobserveerde verbeteringen op het vlak van spraakverstaan in rumoer enkel van toepassing waren op spraakstimuli aangeboden tijdens de auditieve training. Er werd geen generalisatie opgemerkt naar spraakstimuli die tijdens de auditieve training niet werden aangeboden. Daarnaast bleek het doorlopen van auditieve training geen effect te hebben op het subjectieve hoortoestelvoordeel opgemeten aan de hand van een vragenlijst (d.i. Hearing Aid Satisfaction Survey) (Humes e.a., 2019). Auditieve training bij hoortoestelgebruikers zou daarentegen wel een positief effect hebben op het verminderen van depressieve symptomen (Nkyekyer e.a. 2019).

Tot slot werden inconsistente resultaten gevonden omtrent het behoud van het trainingseffect op het vlak van spraakverstaan in rumoer. In de studie van Whitton e.a. (2017) werd zes weken posttraining een significante achteruitgang van spraakverstaan in rumoer opgemerkt. Daarentegen toonden de resultaten van Stecker e.a. (2006) geen significante wijziging in spraakverstaan in rumoer acht weken posttraining. Wel werd een significante toename van de responstijden (d.i. tijd tussen aanbieden van de opgave en antwoord van de persoon) opgemeten, wat mogelijk wijst op een vermindering van de vertrouwdheid met de testprocedure.

Ondanks dat auditief en auditief-cognitieve training veelbelovende resultaten vertoonden, werd geen effect van werkgeheugentraining op het spraakverstaan in rumoer gevonden (Whitton e.a., 2017). In deze studie werd getraind aan de hand van een eenvoudige herhaaltaak, dewelke vermoedelijk eerder het kortetermijngeheugen trainde. Het kortetermijngeheugen staat namelijk in voor kortstondige opslag van informatie. Het werkgeheugen daarentegen dient voor de tijdelijke opslag en verwerking van informatie. Om het werkgeheugen in kaart te brengen en vermoedelijk te trainen dienen meer complexe opgaven te

Tabel 1: Trainingsprotocol en frequentie van oefenmomenten van de studies omtrent auditief-cognitieve training bij binauraal hoortoestelgebruikers ten gevolge van presbycusis

Auteur, jaartal	Trainingsprotocol en frequentie van oefenmomenten
Abrams e.a. 2015	ReadMyQuips: audiovisuele training aan de hand van spelen, puzzels en video's 30 minuten per dag, vijf dagen in de week gedurende drie weken
Humes e.a. 2018	Auditieve spraak-in-ruis oefeningen op basis van woorden en zinnen 15 sessies, drie sessies per week gedurende vijf weken
Nkyekyer e.a. 2019	Continuous Discourse Speech Tracking: voorgelezen zinnen woordelijk herhalen Wekelijkse sessie van 15 minuten gedurende zes maanden
Olson e.a. 2013	Listening and Communication Enhancement (LACE): auditieve spraak-in-ruis oefeningen en training van de cognitieve vaardigheden aan de hand van een spraak-in-ruis oefening waarbij telkens een woord wordt weggelaten 20 sessies van 30 minuten gedurende vier weken
Stecker e.a. 2006	Auditieve spraak-in-ruis oefeningen op basis van syllaben (27 consonant-vocaal en 27 vocaal-consonant syllaben afkomstig van de "nonsense syllabe test") 60 minuten per dag, vijf dagen in de week gedurende 8 weken
Whitton e.a. 2017	Auditief geheugenspel: verbaal aangeboden items aanduiden op een scherm (Klaar? <i>Naam</i> ga naar <i>kleur nummer</i>) waarbij de moeilijkheid van de taak varieert (aantal afleidende stimuli, snelheid van aanbieden, ...) Closed-loop audiomotor game: subtiele verschillen (intensiteit, frequentie, ...) discrimineren in een continue aangeboden auditief signaal ter feedback bij het oplossen van een puzzel. 210 uur per week gedurende acht weken

worden aangeboden. De keuze van de taak ligt dus mogelijk aan de basis van het niet significant trainingseffect.

Conclusie

De meest frequente klachten van slechthorende ouderen zijn gerelateerd aan een verminderd spraakverstaan en een toegenomen luisterinspanning, voornamelijk in rumoerige luistersituaties. Aangezien presbycusis onbehandeld een negatieve impact op de levenskwaliteit uitoefent en de levensverwachting van de bevolking toeneemt, brengt deze aandoening een belangrijk sociaal en gezondheidsgerelateerd probleem met zich mee.

Ondanks dat gehoorrevalidatie in het kader van presbycusis voornamelijk met behulp van hoortoestellen verloopt, blijkt het hoortoestelvoordeel variabel te zijn en dit zelfs bij personen met eenzelfde perifere gehoorstatus. Het hoortoestelvoordeel bij ouderen zou geoptimaliseerd kunnen worden door meer rekening te houden met het auditief-cognitief functioneren van de hoortoestelgebruiker. Enerzijds zouden hoortoestellen niet enkel op basis van de auditieve noden, maar ook op basis van de auditief-cognitieve noden moeten worden ingesteld. Afgezien van de inconsistente resultaten is toch een trend op te merken. Meer specifiek zouden hoortoestelgebruikers met een mindere cognitie meer voordeel ver-

tonen wat betreft spraakverstaan in rumoer en luisterinspanning door gebruik te maken van feature-instellingen die het matching proces faciliteren. Anderzijds blijkt dat auditief en auditief-cognitieve training voordelen biedt op het vlak van spraakverstaan in rumoer en bovendien complementair zou zijn aan de voordelen bekomen op basis van het hoortoestelgebruik.

Algemeen kan besloten worden dat evidence-based adviezen omtrent hoortoestelfitting op basis van het auditief-cognitief functioneren van de hoortoestelgebruiker en auditief-cognitieve training nog niet voorhanden zijn. Verder onderzoek inzake deze onderwerpen is noodzakelijk zodat op basis van de bekomen resultaten nieuwe richtlijnen omtrent het huidige revalidatieproces bij personen met presbycusis kunnen worden opgesteld. Dergelijke richtlijnen zijn noodzakelijk met het oog op het optimaliseren van het hoortoestelvoordeel bij ouderen.

Referenties

- Abrams, H. B., Bock, K., Irey, R. L. (2015). Can a Remotely Delivered Auditory Training Program Improve Speech-in-Noise Understanding? *American Journal of Audiology*, 24, 333-337.
- Akeroyd, M. A. (2008). Are individual differences in speech reception related to individual differences in cognitive ability? A survey of twenty experimental studies with normal and hearing-impaired adults. *International Journal of Audiology*, 47 Suppl 2, S53-71.
- Anderson, S., Parbery-Clark, A., Yi, H. G., e.a. (2011). A neural basis of speech-in-noise perception in older adults. *Ear and Hearing*, 32, 750-757.
- Anderson, S., White-Schwoch, T., Parbery-Clark, A., e.a. (2013). A dynamic auditory-cognitive system supports speech-in-noise perception in older adults. *Hearing Research*, 300, 18-32.
- Baltes, P. B., Lindenberger, U. (1997). Emergence of a powerful connection between sensory and cognitive functions across the adult life span: a new window to the study of cognitive aging? *Psychology Aging*, 12, 12-21.
- Bentler, R., Mueller, H. G., Ricketts, T. A. (2016). *Modern hearing aids: Verification, outcome measures, and follow-up*. Plural Publishing.
- Bourland Hicks, C., Tharpe, A. M. (2002). Listening effort and fatigue in school-age children with and without hearing loss. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 45, 573-584.
- Cacciatore, F., Napoli, C., Abete, P., e.a. (1999). Quality of life determinants and hearing function in an elderly population: Osservatorio Geriatrico Campano Study Group. *Gerontology*, 45, 323-328.
- Castiglione, A., Benatti, A., Velardita, C., e.a. (2016). Aging, Cognitive Decline and Hearing Loss: Effects of Auditory Rehabilitation and Training with Hearing Aids and Cochlear Implants on Cognitive Function and Depression among Older Adults. *Audiology and Neurotology*, 21 Suppl 1, 21-28.
- CHABA, C. o. H. a. B. a. b. (1988). Speech understanding and aging. *The Journal of the*

- Acoustical Society of America*, 83, 859-895.
- Cox, R. M., Xu, J. (2010). Short and long compression release times: speech understanding, real-world preferences, and association with cognitive ability. *Journal of the American Academy of Audiology*, 21, 121-138.
- Cruickshanks, K. J., Wiley, T. L., Tweed, T. S., e.a. (1998). Prevalence of hearing loss in older adults in Beaver Dam, Wisconsin. The Epidemiology of Hearing Loss Study. *American Journal of Epidemiology*, 148, 879-886.
- Dalton, D. S., Cruickshanks, K. J., Klein, B. E., e.a. (2003). The impact of hearing loss on quality of life in older adults. *Gerontologist*, 43, 661-668.
- Dawes, P., Munro, K. J. (2017). Auditory Distraction and Acclimatization to Hearing Aids. *Ear and Hearing*, 38, 174-183.
- Deal, J. A., Betz, J., Yaffe, K., e.a. (2017). Hearing Impairment and Incident Dementia and Cognitive Decline in Older Adults: The Health ABC Study. *The Journals of Gerontology Series A Biological Sciences and Medical Sciences*, 72, 703-709.
- Degeest, S., Keppler, H., Corthals, P. (2015). The Effect of Age on Listening Effort. *Journal in Speech Language and Hearing Research*, 58, 1592-1600.
- Desjardins, J. L. (2016a). Analysis of Performance on Cognitive Test Measures Before, During, and After 6 Months of Hearing Aid Use: A Single-Subject Experimental Design. *American Journal of Audiology*, 25, 127-141.
- Desjardins, J. L. (2016b). The Effects of Hearing Aid Directional Microphone and Noise Reduction Processing on Listening Effort in Older Adults with Hearing Loss. *Journal of the American Academy of Audiology*, 27, 29-41.
- Desjardins, J. L., Doherty, K. A. (2013). Age-related changes in listening effort for various types of masker noises. *Ear and Hearing*, 34, 261-272.
- Desjardins, J. L., Doherty, K. A. (2014). The effect of hearing aid noise reduction on listening effort in hearing-impaired adults. *Ear and Hearing*, 35, 600-610.
- Dillon, H. (2008). Hearing aids. Hodder Arnold.
- Dobie, R. A. (2008). The burdens of age-related and occupational noise-induced hearing loss in the United States. *Ear and Hearing*, 29, 565-577.
- Doherty, K. A., Desjardins, J. L. (2015). The benefit of amplification on auditory working memory function in middle-aged and young-older hearing impaired adults. *Frontiers in Psychology*, 6, 721.
- Dryden, A., Allen, H. A., Henshaw, H., e.a. (2017). The Association Between Cognitive Performance and Speech-in-Noise Perception for Adult Listeners: A Systematic Literature Review and Meta-Analysis. *Trends in Hearing*, 21, 2331216517744675.
- Edwards, B. (2016). A Model of Auditory-Cognitive Processing and Relevance to Clinical Applicability. *Ear and Hearing*, 37 Suppl 1, 85s-91s.
- Ellis, R. J., Munro, K. J. (2015). Predictors of aided speech recognition, with and without frequency compression, in older adults. *International Journal of Audiology*, 54, 467-475.
- FOD Economie, K.M.O. Middenstand en Energie (2018). *Sterftetafels en levensverwachting. Afkomstig van* <https://statbel.fgov.be/nl/themas/bevolking/sterfte-en-levensverwachting/sterftetafels-en-levensverwachting/>

- Gallacher, J., Ilubaera, V., Ben-Shlomo, Y., e.a. (2012). Auditory threshold, phonologic demand, and incident dementia. *Neurology*, 79, 1583-1590.
- Gates, G. A., Cooper, J. C., Jr., Kannel, W. B., e.a. (1990). Hearing in the elderly: the Framingham cohort, 1983-1985. Part I. Basic audiometric test results. *Ear and Hearing*, 11, 247-256.
- Gates, G. A., Mills, J. H. (2005). Presbycusis. *Lancet*, 366, 1111-1120.
- Gosselin, P. A., Gagne, J. P. (2011). Older adults expend more listening effort than young adults recognizing audiovisual speech in noise. *International Journal of Audiology*, 50, 786-792.
- Grassi, M., Borella, E. (2013). The role of auditory abilities in basic mechanisms of cognition in older adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 5, 59.
- Gurgel, R. K., Ward, P. D., Schwartz, S., e.a. (2014). Relationship of hearing loss and dementia: a prospective, population-based study. *Otology and Neurotology*, 35, 775-781.
- Harrington, K. D., Lim, Y. Y., Ames, D., e.a. (2017). Using Robust Normative Data to Investigate the Neuropsychology of Cognitive Aging. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 32, 142-154.
- Harrison Bush, A. L., Lister, J. J., Lin, F. R., e.a. (2015). Peripheral Hearing and Cognition: Evidence From the Staying Keen in Later Life (SKILL) Study. *Ear and Hearing*, 36, 395-407.
- Helfer, K. S., Freyman, R. L. (2008). Aging and speech-on-speech masking. *Ear and Hearing*, 29, 87-98.
- Holmes, E., Folkeard, P., Johnsrude, I. S., e.a. (2018). Semantic context improves speech intelligibility and reduces listening effort for listeners with hearing impairment. *International Journal of Audiology*, 1-10.
- Humes, L.E., Skinner, K.G., Kinney, D.L., e.a. (2019). Clinical Effectiveness of an At-Home Auditory Training Program: A Randomized Controlled Trial. *Ear and Hearing*, 40, 1043-1060.
- Johnson, J. A., Xu, J., Cox, R. M. (2016). Impact of Hearing Aid Technology on Outcomes in Daily Life II: Speech Understanding and Listening Effort. *Ear and Hearing*, 37, 529-540.
- Kalluri, S., Ahmann, B., & Munro, K. J. (2019). A systematic narrative synthesis of acute amplification-induced improvements in cognitive ability in hearing-impaired adults. *International Journal of Audiology*, 1-9.
- Karawani, H., Jenkins, K., Anderson, S. (2018). Restoration of sensory input may improve cognitive and neural function. *Neuropsychologia*, 114, 203-213.
- Keidser, G., Dillon, H., Convery, E., e.a. (2013). Factors influencing individual variation in perceptual directional microphone benefit. *Journal of the American Academy of Audiology*, 24, 955-968.
- Kestens, K., Degeest S., Keppler H. (2020). The effect of cognition on the aided benefit in terms of speech understanding and listening effort obtained with digital hearing aids: a systematic review. *American Journal of Audiology*. Manuscript ingediend voor publicatie.
- Kiessling, J., Pichora-Fuller, M. K., Gatehouse, S., e.a. (2003). Candidature for and deliv-

- ery of audiological services: special needs of older people. *International Journal of Audiology*, 42, 92-101.
- Knudsen, L., Oberg, M., Nielsen, e.a. (2010). Factors Influencing Help Seeking, Hearing Aid Uptake, Hearing Aid Use and Satisfaction With Hearing Aids: A Review of the Literature. *Trends in Amplification*, 14(3), 127-154.
- Kowalewski B., Zaar J., Fereczkowski M., e.a. (2018). Effects of Slow- and Fast-Acting Compression on Hearing-Impaired Listeners' Consonant-Vowel Identification in Interrupted Noise. *Trends in Hearing*, 22, 1-12.
- Lin, F. R. (2011). Hearing loss and cognition among older adults in the United States. *The Journals of Gerontology. Series of a Biological Sciences and Medical Sciences*, 66, 1131-1136.
- Lin, F. R., Thorpe, R., Gordon-Salant, S., e.a. (2011). Hearing loss prevalence and risk factors among older adults in the United States. *Journal of Gerontology A Biological Sciences and Medical Sciences*, 66, 582-590.
- Lindenberger, U., Baltes, P. B. (1994). Sensory functioning and intelligence in old age: a strong connection. *Psychology and Aging*, 9, 339.
- Mazelova, J., Popelar, J., Syka, J. (2003). Auditory function in presbycusis: peripheral vs. central changes. *Experimental Gerontology*, 38, 87-94.
- Neher, T., Wagener, K. C., Fischer, R. L. (2016). Directional processing and noise reduction in hearing AIDS: Individual and situational influences on preferred setting. *Journal of the American Academy of Audiology*, 27, 628-646.
- Nkyekyer, J., Meyer, D., Pipingas, A., e.a. (2019). The Cognitive and Psychosocial Effects of Auditory Training and Hearing Aids in Adults with Hearing Loss. *Clinical Interventions in Aging*, 14, 123-135.
- Oberfeld, D., Klockner-Nowotny, E. (2016). Individual differences in selective attention predict speech identification at a cocktail party. *Elife*, 5.
- Olson, A. D., Preminger, J. E., Shinn, J. B. (2013). The effect of LACE DVD training in new and experienced hearing aid users. *Journal of the American Academy of Audiology*, 24, 214-230.
- Pichora-Fuller, M. K., Kramer, S. E., Eckert, M. A., e.a. (2016). Hearing Impairment and Cognitive Energy: The Framework for Understanding Effortful Listening (FUEL). *Ear and Hearing*, 37 Suppl 1, 5S-27S.
- Picou, E. M., Moore, T. M., Ricketts, T. A. (2017). The Effects of Directional Processing on Objective and Subjective Listening Effort. *Journal of Speech Language and Hearing Research*, 60, 199-211.
- Picou, E. M., Ricketts, T. A. (2017). How directional microphones affect speech recognition, listening effort and localisation for listeners with moderate-to-severe hearing loss. *International Journal of Audiology*, 56, 909-918.
- Picou, E. M., Ricketts, T. A., Hornsby, B. W. (2013). How hearing aids, background noise, and visual cues influence objective listening effort. *Ear and Hearing*, 34, e52-64.
- Pronk, M., Lissenberg-Witte, B.I., van der Aa, H.P.A., e.a. (2019). Longitudinal Relationships Between Decline in Speech-in-Noise Recognition Ability and Cognitive Functioning: The Longitudinal Aging Study Amsterdam. *Journal of Speech, Language, and Hearing*

- Research*, 62, 1167-1187.
- Ronnberg, J., Lunner, T., Zekveld, A., e.a. (2013). The Ease of Language Understanding (ELU) model: theoretical, empirical, and clinical advances. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 7, 31.
- Rudner, M., Foo, C., Ronnberg, J., e.a. (2009). Cognition and aided speech recognition in noise: specific role for cognitive factors following nine-week experience with adjusted compression settings in hearing aids. *Scandinavian Journal of Psychology*, 50, 405-418.
- Sachdev, P. S., Blacker, D., Blazer, D. G., e.a. (2014). Classifying neurocognitive disorders: the DSM-5 approach. *Nature Reviews Neurology*, 10, 634.
- Shehorn, J., Marrone, N., Muller, T. (2018). Speech Perception in Noise and Listening Effort of Older Adults With Nonlinear Frequency Compression Hearing Aids. *Ear and Hearing*, 39, 215-225.
- Sohlberg, M. M., Mateer, C. A. (2017). *Cognitive rehabilitation: An integrative neuropsychological approach*. Guilford Publications.
- Souza, P. E., Sirow, L. (2014). Relating working memory to compression parameters in clinically fit hearing AIDS. *American Journal of Audiology*, 23, 394-401.
- Stecker, G. C., Bowman, G. A., Yund, E. W., e.a. (2006). Perceptual training improves syllable identification in new and experienced hearing aid users. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 43, 537.
- van Rooij, J. C., Plomp, R. (1992). Auditive and cognitive factors in speech perception by elderly listeners. III. Additional data and final discussion. *Journal of Acoustical Society of America*, 91, 1028-1033.
- Vaughan, N., Storzbach, D., Furukawa, I. (2006). Sequencing versus nonsequencing working memory in understanding of rapid speech by older listeners. *Journal of the American Academy of Audiology*, 17, 506-518.
- Vingerhoets, G., Lannoo, E. (1998). *Handboek neuropsychologie. De biologische basis van het gedrag*. Leuven: Acco.
- Wayne, R. V., Johnsrude, I. S. (2015). A review of causal mechanisms underlying the link between age-related hearing loss and cognitive decline. *Ageing Research Reviews*, 23, 154-166.
- Wendt, D., Hietkamp, R. K., Lunner, T. (2017). Impact of Noise and Noise Reduction on Processing Effort: A Pupillometry Study. *Ear and Hearing*, 38, 690-700.
- Whitton, J. P., Hancock, K. E., Shannon, J. M., e.a. (2017). Audiomotor Perceptual Training Enhances Speech Intelligibility in Background Noise. *Current Biology*, 27, 3237-3247.e3236.